

## تعیین میزان اثرگذاری ویژگی‌های خاک بر رواناب و رسوب در سطح زیربرده با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی (مطالعه موردی: دشت اردبیل)

فاطمه آقاعلیزاده ثمرین<sup>۱</sup>، آیدا عباسی کلو<sup>۲\*</sup>، اباذر اسمعیلی عوری<sup>۳</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۲۹)

### چکیده

شناخت عوامل و فرآیندهای مؤثر بر فرسایش و رسوب خاک در یک منطقه، در ارائه راهکارهای مناسب برای حفاظت خاک ضروری می‌باشد. در این پژوهش، تأثیر ویژگی‌های خاک بر میزان رواناب و رسوب با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران در سطح زیربرده، در دشت اردبیل بررسی گردید و برای بیان تأثیر ویژگی‌های خاک، از تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) استفاده شد. ۷۷ نمونه خاک سطحی با روش شبکه‌های منظم (۳۵۰×۳۵۰ متر) تهیه گردید و برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک (بافت، رطوبت اشباع، کربن آلی، هدایت الکتریکی، اسیدیته، نیتروژن کل و پتاسیم) در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. علاوه بر آن، درصد پوشش گیاهی در نقاط نمونه برداری نیز از طریق پلات اندازه‌گیری شد. نمونه‌برداری رواناب و رسوب با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران (با شدت ۲۳/۹ میلی‌متر بر ساعت و مدت ۱۰ دقیقه) در ۴۰ نقطه اجرا و نمونه‌های رواناب و رسوب برداشت و به آزمایشگاه منتقل شد. نیم‌رخ‌های شاهد خاک تا سطح زیربرده با استفاده از سیستم جامع آمریکایی تشریح شدند. نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) نشان داد نه عامل از ۱۳ عامل بررسی شده در سه مؤلفه اصلی قرار گرفته که در مجموع ۵۷/۰۱ درصد از تغییرات میزان رسوب را توجیه می‌کنند. بر طبق نتایج، بیش‌ترین میزان رواناب (۴/۸ لیتر بر متر مربع) و رسوب (۵۸ گرم بر متر مربع) در زیربرده Psammments اندازه‌گیری شد. میزان کم کربن آلی در این زیربرده (۰/۷۸ درصد)، موجب کاهش نفوذپذیری خاک و افزایش حجم رواناب تولیدی می‌گردد. همچنین کم‌ترین میزان رواناب (۲/۴ لیتر بر متر مربع) و رسوب (۲۱/۸۴ گرم بر متر مربع) در زیربرده Xeralfs مشاهده شد که در آن میزان کربن آلی (۳/۲۱ درصد) و پایداری خاکدانه‌ها (۶/۵۹ درصد) زیاد بوده و به بتع آن، نفوذپذیری خاک افزایش و تلفات خاک کاهش پیدا می‌کند.

**واژه‌های کلیدی:** باران‌ساز، بافت خاک، رده‌های خاک، فرسایش

۱- آقاعلیزاده ف.، عباسی آ.، اسمعیلی ا. ۱۳۹۹. تعیین میزان اثرگذاری ویژگی‌های خاک بر رواناب و رسوب در سطح زیربرده با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی (مطالعه موردی: دشت اردبیل). تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۸، شماره ۲. صفحه: ۱۲۹-۱۴۱.

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی

۲- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی

۳- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی

\* پست الکترونیک: [abbasiayda2014@gmail.com](mailto:abbasiayda2014@gmail.com)

## مقدمه

در تمامی مطالعات و پژوهش‌های انجام شده، در مورد مؤثر بودن عوامل فرسایش‌پذیری خاک، شیب زمین و وضعیت پوشش گیاهی در رخداد فرسایش خاک اتفاق نظر وجود دارد (Brunner *et al.*, 2004). کایانپور و همکاران (Kavianpoor *et al.*, 2015) اثر پوشش گیاهی بر کاهش رواناب و هدررفت خاک را با استفاده از شبیه‌سازی باران در مراتع نشو استان مازندران بررسی نمودند. نتایج آنان نشان داد در منطقه مورد مطالعه، پوشش گیاهی حداکثر، بیشترین سهم را در کاهش رواناب و رسوب داشته است. ژینژائو و همکاران (Xinxiao *et al.*, 2006) سهم دو عامل بارش و پوشش گیاهی در ایجاد رسوب و فرسایش خاک در منطقه مورد مطالعه خود را به ترتیب ۵۴/۳ و ۴۵/۷ درصد بدست آوردند. یعنی تأثیر بارش در تولید رسوب و ایجاد فرسایش خاک بیش‌تر از پوشش گیاهی می‌باشد. نوع خاک و ترکیب آن عامل بسیار مهمی در مقدار رواناب، میزان نفوذپذیری و تخریب خاک می‌باشد. اکیو و هاری لال (Ekwue & Harrilal, 2010) نوع خاک، مواد آلی، شیب و سایر عوامل را بر رواناب و رسوب با استفاده از باران‌ساز بررسی نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد، افزایش مواد آلی خاک موجب افزایش نفوذپذیری خاک شده و رواناب و رسوب را در شیب‌های مختلف کاهش می‌دهد. میزان فرسایش در خاک شنی لومی نسبت به رسی لومی و رسی بیش‌تر بوده است. دوو و همکاران (Du *et al.*, 2013) با بررسی اثرات بارش و پوشش گیاهی روی رواناب و تولید رسوب در حوضه رودخانه جین‌شا، نشان دادند که تولید رواناب و رسوب ارتباط مثبتی با شاخص بارش دارند. در حالی که این رابطه با شاخص پوشش گیاهی منفی است. لی و گائو (Li & Gao, 2015) تغییرات تولید رواناب و رسوب در پاسخ به تغییرات بارش را در حوزه‌ی آبخیز ژیچوان<sup>۲</sup> در چین بررسی نموده و نشان دادند با افزایش بارش، مقدار رواناب و رسوب افزایش یافته و تغییر رواناب نسبت به تغییرات بارش، بیش‌تر از تغییرات رسوب می‌باشد. چن و همکاران (Chen *et al.*, 2016) نحوه تأثیرگذاری شدت بارش بر روی خاک لوسی و از دست رفتن مواد مغذی را بررسی کرده و نشان دادند که با افزایش شدت بارندگی،

فرسایش خاک یک مشکل جهانی است که به‌طور جدی منابع آب و خاک را تهدید می‌کند (Morgan, 2005). در مناطقی که هیچ کنترلی بر فرسایش وجود ندارد، خاک‌ها به تدریج فرسایش یافته و حاصلخیزی خود را از دست می‌دهند. فرسایش نه تنها سبب فقیر شدن خاک و متروک شدن مزارع شده و از این راه خسارات زیاد و جبران‌ناپذیری به‌جا می‌گذارد، بلکه با رسوب مواد در آبراهه‌ها، مخازن، سدها، بنادر و کاهش ظرفیت آبیگری آن‌ها، سبب زیان‌های فراوان می‌گردد (Habibzadeh *et al.*, 2013).

بررسی تولید رواناب و رسوب یکی از فرآیندهای اصلی و مهم فرسایش و هدررفت خاک بوده و آگاهی از ویژگی‌های مؤثر بر آن، امری ضروری به نظر می‌رسد. تولید رواناب و رسوب در اثر فرسایش آبی به عواملی هم‌چون بافت خاک، ساختمان و نفوذپذیری خاک و نیز ویژگی‌های باران بستگی دارد (Girmay *et al.*, 2009). بین و همکاران (Yin *et al.*, 2003)، بیزونایس و همکاران (Bissonnais *et al.*, 2005)، ریمال و لال (Rimal & Lal, 2009) و محمد (Mohammad, 2010) هر کدام به نوعی به نقش بارندگی (شدت و مدت)، پوشش گیاهی (نوع پوشش گیاهی و سیستم ریشه‌ای)، ویژگی‌های خاک و ویژگی‌های حوزه آبخیز (شیب، شکل و ذخیره سطحی) در سرعت نفوذ، تولید رواناب و فرسایش خاک اشاره نموده‌اند.

از آنجایی که اندازه‌گیری میزان فرسایش خاک تحت شرایط بارندگی، زمان‌بر و پرهزینه است (Sheridan *et al.*, 2008)، شبیه‌سازی باران به عنوان ابزاری در تحقیقات، به‌طور وسیعی در شناخت فرسایش خاک و فرآیندهای مربوط، مورد استفاده قرار گرفته است. باران‌سازها امکان اندازه‌گیری مکرر در زمین‌های مختلف برای تعیین عوامل مؤثر بر رواناب و فرسایش را فراهم می‌کنند (Lang, 1990). باید توجه داشت که استفاده از باران‌سازها خود با محدودیت‌هایی مواجه می‌باشد. به طوری که باران‌سازها هرگز نمی‌توانند شرایط طبیعی بارندگی را به‌طور کامل شبیه‌سازی کنند (Jordan, 2008). اما به‌رغم چالش‌های موجود، استفاده از شبیه‌سازها در زمینه‌های مختلف فرسایش خاک و تولید رسوب در سطح جهان رایج می‌باشد (Seeger, 2007).

1. Jin Sha  
2. Xichuan

در مرکز استان و در میان کوه‌های سبلان، بزقوش و تالش قرار گرفته است. متوسط بارش و دمای سالانه آن به ترتیب ۳۵۲/۶ میلی‌متر و ۸/۵ درجه سانتی‌گراد و پرباران‌ترین و کم‌باران‌ترین فصول سال به ترتیب بهار و تابستان می‌باشد.

دشت اردبیل که شهر اردبیل و روستاهای اطراف در آن استقرار یافته، به سبب وجود خاک‌های نرم و رسوبی و آتشفشانی، همانند جلگه مغان از نواحی عمده کشاورزی محسوب می‌شود. زمین‌های کشاورزی این منطقه در برگزیده انواع کشت آبی و دیم هستند که اغلب محصولاتی از قبیل گندم، جو و سیب‌زمینی کشت می‌گردد. مناطق مورد مطالعه تحت کاربری زراعی و به‌طور عمده به کشت گندم و سیب‌زمینی تعلق یافته است. فرسایش خاک در استان اردبیل به دو شکل آبی و بادی صورت می‌گیرد، اما فرسایش آبی در تخریب منابع خاکی استان تأثیر مخرب‌تری داشته است. در شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه، نقاط نمونه برداری، محل پروفیل‌ها و همچنین محل‌های اجرای باران‌ساز نشان داده شده است.

### مطالعات صحرائی

انتخاب محل‌های نمونه‌برداری سطحی خاک منطقه به روش سیستماتیک انجام شد که با توجه به وسعت منطقه و حجم نمونه‌برداری، شبکه ابعاد  $3500 \times 3500$  متر بر محدوده مطالعاتی اعمال شد و بدین ترتیب، مختصات جغرافیایی ۷۷ نقطه مشاهداتی به دست آمد. مختصات نقاط از طریق نرم افزار ArcGIS<sup>۱</sup> در روی نقشه استخراج و به GPS<sup>۲</sup> منتقل شد تا در صحرا شناسایی شوند. سپس نمونه‌های خاک سطحی از این ۷۷ نقطه (به صورت مرکب از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری) برداشت شد. داده‌های حاصل از باران‌ساز نیز به طور یک در میان (از ۴۰ نقطه) به دست آمد.

### اندازه‌گیری رواناب و رسوب

باران‌ساز مورد استفاده در این تحقیق از نوع قابل حمل جداشونده بود. اجزای تشکیل دهنده آن شامل مخزن اضطراری و کمکی باد، مخزن آب، نازل‌ها، چهارپایه و چهارچوب بودند. نازل‌های باران‌ساز مورد استفاده

رواناب و رسوب با شیب تدریجی افزایش می‌یابد. لی و همکاران (Li et al., 2017) در مطالعه‌ای برای بررسی اتلاف مواد آلی خاک دریافتند که شدت باران نه تنها تأثیر قابل توجهی در اتلاف رواناب دارد، بلکه به از دست دادن رسوب نیز کمک می‌کند. علاوه بر این، تغییرات شدت بارندگی و درجه شیب به طور مستقیم سه فرآیند جدا شدن خاک، حرکت و رسوب در سطح شیب‌دار را تعیین می‌کند.

با توجه به بررسی مطالعات انجام شده می‌توان نتیجه گرفت که عوامل متعددی در تولید و تشدید رواناب و فرسایش خاک نقش دارند که بسته به شرایط منطقه نقش برخی از این عوامل بارزتر می‌شود. با این وجود، مطالعه‌ای که این ارتباط را در رده‌ها یا زیررده‌های خاک بررسی نماید، انجام نشده است. لذا هدف از انجام این پژوهش بررسی میزان تأثیر ویژگی‌های خاک مانند توزیع اندازه ذرات خاک، پوشش گیاهی، پوشش سنگ، رطوبت خاک، شیب و توپوگرافی که فاکتورهای اصلی مرتبط با ویژگی‌های خاک است، بر روی میزان رسوب و رواناب در زیررده‌های مختلف خاک می‌باشد. بدیهی است دستیابی به اثر واقعی عوامل مؤثر بر رواناب و فرسایش می‌تواند از قدم‌های اولیه و در عین حال اساسی برای ارائه مدلی برای برآورد رواناب و هدررفت خاک در شرایط حاکم بر خاک‌های ایران باشد. همچنین با شناخت عوامل مؤثر بر هدررفت خاک، می‌توان راه حل مناسبی را برای حل این مشکل ارائه کرد. در این میان با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران می‌توان شبیه‌سازی بارش طبیعی را با هزینه و زمان کم‌تری انجام داد.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در این تحقیق دشت اردبیل با وسعت حدود ۸۰۰ کیلومتر مربع (طول ۴۰ کیلومتر و عرض ۲۰ کیلومتر) بوده و در موقعیت جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۸ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۴ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۶ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۳ دقیقه طول شرقی واقع شده است. دشت اردبیل، دشتی هموار و حاصلخیز بوده که در ارتفاع ۱۳۵۰ متری از سطح دریا

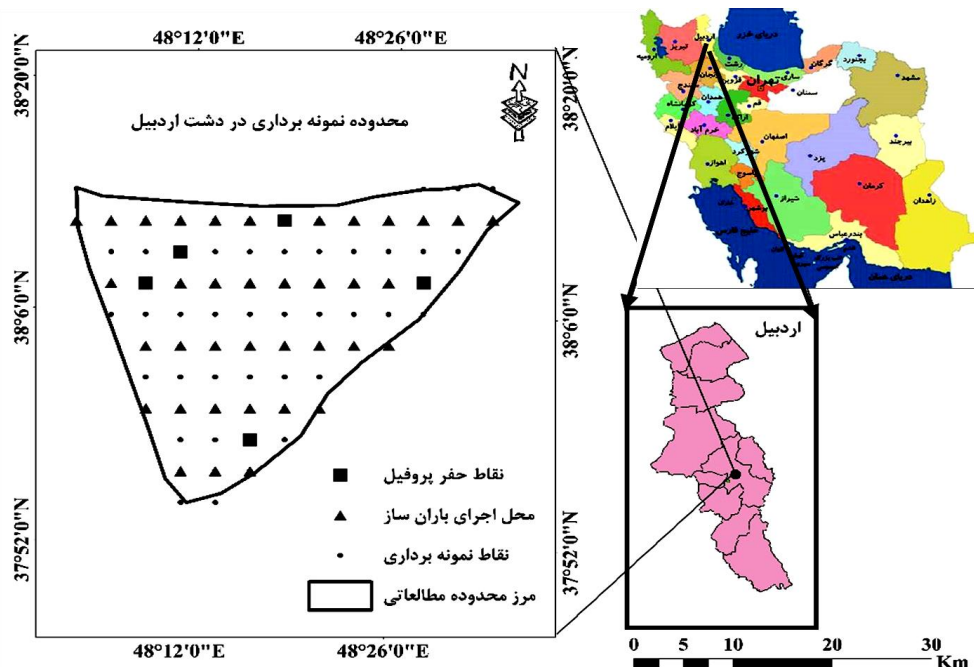
1. Version 10.1  
2. Global Positioning System

به‌دست آمد. مقادیر پوشش گیاهی و پوشش سنگ محل نمونه‌برداری نیز با استفاده از پلات‌های نمونه برداری  $1 \times 1$  متر مربعی اندازه‌گیری و ثبت شد (شکل ۲).

#### تعیین ویژگی‌های خاک

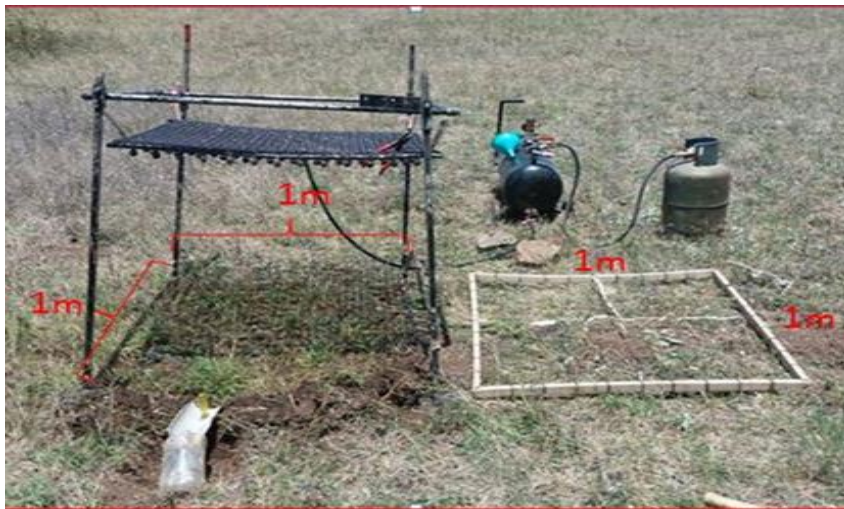
نمونه‌های خاک پس از خشک شدن در هوای آزاد، از الک دو میلی‌متری عبور داده شده و تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی شامل درصد رس، سیلت و شن به روش هیدرومتری (Gee & Bauder, 1980)، رطوبت اولیه خاک به روش وزنی (Azmoodeh *et al.*, 2010)، کربن آلی به روش والکی بلک (Soleimani & Azmoodeh, 2010)، اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک با عصاره اشباع و به وسیله pH متر و EC متر دیجیتال (Zarrin Kafsh, 1994)، نیتروژن کل خاک به روش کجلدال (Bremner, 1982) و پتاسیم قابل جذب به روش استات آمونیوم یک نرمال (Knudsen *et al.*, 1982) اندازه‌گیری شد.

به‌صورت ردیفی و با فاصله ۵ سانتی‌متری تعبیه شده بودند که حاوی ۱۷۳ قطره چکان قابل تنظیم رزوه‌ای بود. ارتفاع آن تا حد مورد نظر قابل تنظیم بوده، سطح پوشش دهنده بارش یک متر مربع و میزان شدت بارش به طور ثابت قابل تنظیم بود. با استفاده از دستگاه باران‌ساز (شکل ۲)، در ۴۰ محل نمونه بارشی با شدت ثابت  $23/9$  میلی‌متر بر ساعت (متناسب با رژیم بارش محاسبه شده از طریق منحنی‌های شدت - مدت - فراوانی در ایستگاه اردبیل) و مدت زمان بارش ۱۰ دقیقه با دوره بازگشت دو ساله در نظر گرفته شد (Ghahraman & Sepaskhah, 1991). بعد از اجرای هر بارش، رواناب و رسوب تولیدی در بطری‌های مشخص جمع‌آوری شد. آستانه شروع رواناب نیز توسط زمان‌سنج تعیین شد. نمونه‌های رواناب جمع‌آوری شده از عملیات میدانی پس از اختلاط کامل آب و رسوب، به مدت ۴۸ ساعت برای ته‌نشینی رسوبات کنار گذاشته شد. پس از ته‌نشینی کامل رسوبات، حجم رواناب تولیدی بر حسب میلی‌لیتر و نیز جرم رسوب تولیدی بر حسب گرم



شکل ۱ - موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان اردبیل

Figure 1. The location of study area in Ardabil province



شکل ۲- نمایی از دستگاه باران ساز استفاده شده برای نمونه برداری رواناب و رسوب در دشت اردبیل  
Figure 2. A scheme of rainfall simulator used for runoff and sediment sampling in Ardabil Plain

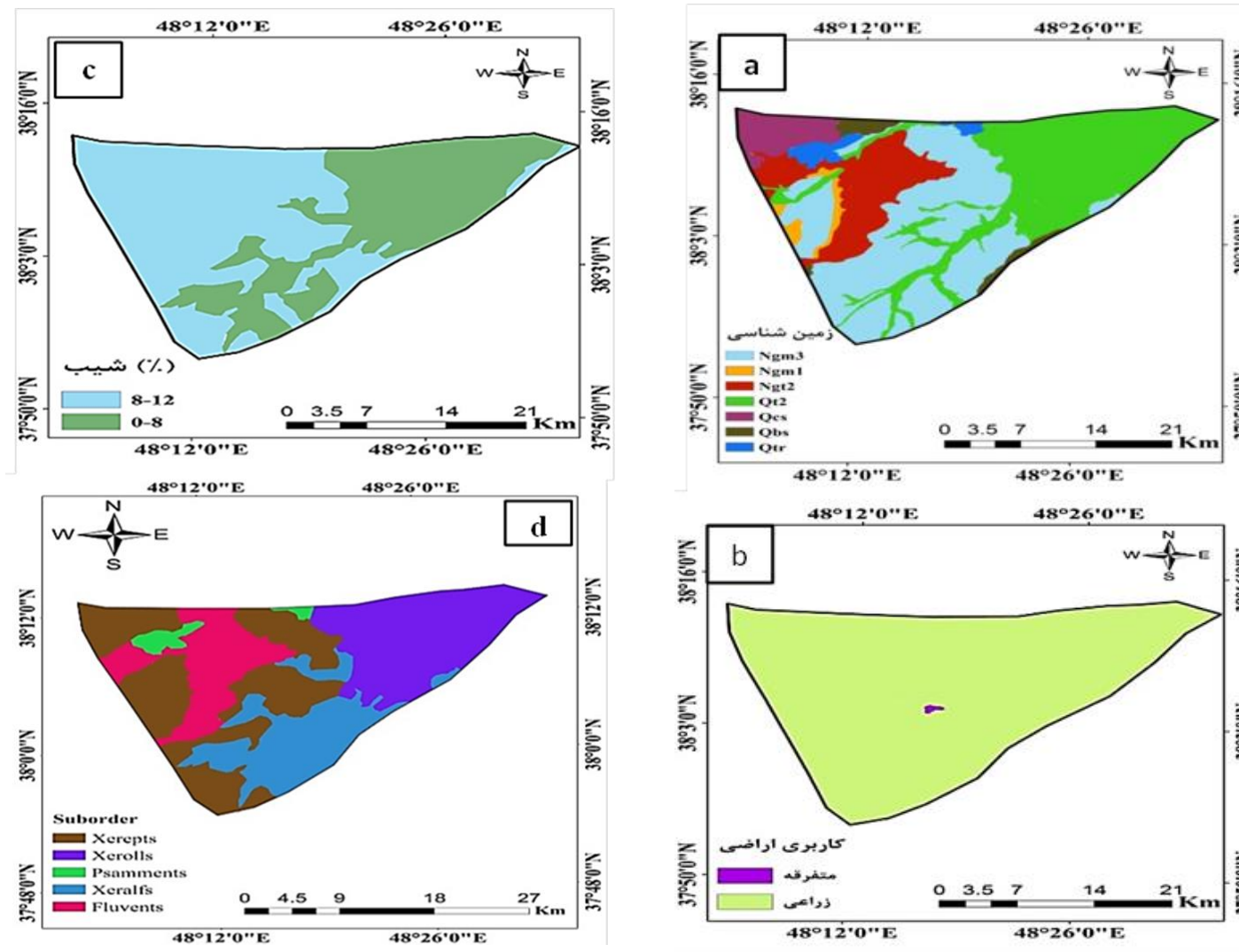
#### رده بندی خاک

کاری، نیمرخ شاهد حفر و تشریح شد. نمونه ها به آزمایشگاه منتقل و تجزیه و تحلیل های مورد نیاز انجام و ویژگی های لازم برای هر نیمرخ ثبت شد. در نهایت با استفاده از سیستم رده بندی جامع آمریکایی (Soil) (Soil Survey Staff, 2014) Taxonomy، رده بندی خاک ها تا سطح زیررده صورت گرفت (جدول ۱ و شکل ۴).

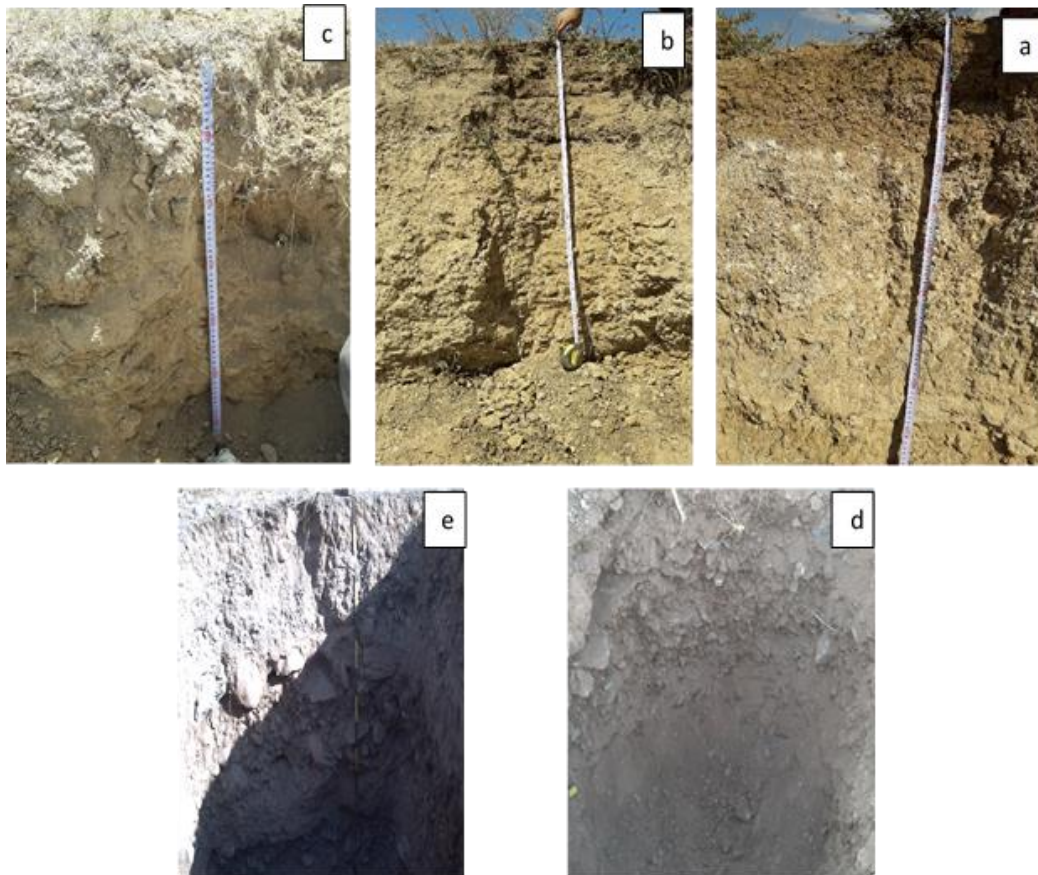
برای تعیین رژیم های رطوبتی و حرارتی منطقه، از داده های هواشناسی (دما، بارندگی، تبخیر و تعرق) ایستگاه های اردبیل، خلخال و سرعین استفاده شد و با استفاده از نرم افزار Newhall، رژیم های رطوبتی و حرارتی منطقه تعیین شد. به منظور حفر نیمرخ برای رده بندی خاک، نقشه های زمین شناسی، کاربری اراضی و شیب در محیط ArcMap با هم تلفیق و نقشه واحد کاری تهیه شد (شکل ۳). در هر کدام از واحدهای

جدول ۱- رده بندی نیمرخ های منطقه مورد مطالعه با سیستم جامع آمریکایی

Profile number	Order	Suborder
10	Inceptisols	Xerepts
19	Entisols	Psamments
29	Entisols	Fluvents
37	Mollisols	Xerolls
70	Alfisols	Xeralfs



شکل ۳- نقشه‌های (a) زمین شناسی، (b) کاربری اراضی، (c) شیب و (d) زیررده‌های خاک  
 Figure 3. Maps of (a) geology, (b) land use, (c) slope, and (d) soil suborder



شکل ۴- نیمرخ‌های خاک: (a) Xerolls, (b) Xeralfs, (c) Xerepts, (d) Psamments, (e) Fluvents  
Figure 4. Soil Profiles: (a) Xerolls, (b) Xeralfs, (c) Xerepts, (d) Psamments, and (e) Fluvents

مورد مطالعه است، بنابراین مؤلفه‌های دارای ارزش ویژه بزرگ‌تر از یک برای تفسیر انتخاب شدند.

### نتایج و بحث

بررسی میزان رواناب و رسوب به روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)

به دلیل این که مؤلفه‌ها در PCA بر اساس مقدار اطلاعاتی که دارند مرتب می‌شوند، چند مؤلفه اول در این آنالیز دارای بیشترین حجم اطلاعات مجموعه متغیرهای مورد مطالعه بودند. مؤلفه اول ( $PC_1$ ) با ۲۵ درصد واریانس داده‌ها دارای دامنه اطلاعات وسیعتری نسبت به سایر مؤلفه‌ها می‌باشد که دربرگیرنده ویژگی‌های رس، شن، نیتروژن، هدایت الکتریکی و رطوبت اشباع بود و مؤلفه اصلی دوم با متغیرهای کربن آلی و پایداری خاکدانه‌ها و همچنین مؤلفه اصلی سوم با متغیرهای سیلت و اسیدیت به بیشترین همبستگی را داشتند (جدول ۲).

### تحلیل داده‌ها

به منظور بررسی رابطه موجود بین میزان رواناب و رسوب و عوامل تعیین شده، تعیین مهمترین عوامل مؤثر در تغییرات رواناب و رسوب و همچنین میزان این تغییرات در سطح زیرروده، با استفاده از تجزیه و تحلیل اطلاعات از روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) استفاده شد. روش PCA برای کاهش حجم داده‌ها، از میان کل ویژگی‌های مورد بررسی خاک، ویژگی‌هایی که بیشترین تأثیر را بر میزان رواناب و رسوب منطقه دارند، انتخاب می‌کند (Qi et al., 2009). به منظور دستیابی به ماتریس ساده و معنی‌دار و قابل تفسیر از چرخش واریماکس استفاده شد. روش واریماکس استفاده وسیع‌تری در بین محققین دارد و یکی از انواع چرخش‌های عمودی است (Johnson & Wichern, 1982). این تجزیه و تحلیل روی ۱۳ عامل و در ۴۰ نقطه کاری صورت گرفت. از آنجا که مؤلفه‌های با مقدار ویژه کمتر از یک بیانگر توصیف بخش کمتری از واریانس توسط آن مؤلفه نسبت به هر یک از متغیرهای

جدول ۲- وزن‌های محاسبه شده هر مؤلفه اصلی بعد از چرخش واریماکس در منطقه مورد مطالعه

Table 2. The calculated weights of each principal component after the varimax rotation at the study area

Component	PC <sub>1</sub>	PC <sub>2</sub>	PC <sub>3</sub>	PC <sub>4</sub>	PC <sub>5</sub>
Clay(%)	0.836	-0.224	0.106	0.168	0.020
Sand(%)	-0.843	0.315	0.333	0.020	-0.134
Silt(%)	0.402	-0.266	-0.728	-0.254	0.210
Cover(%)	-0.049	-0.113	0.305	0.724	0.388
Organic carbon(%)	0.166	0.813	-0.355	0.273	-0.048
pH	-0.258	-0.035	-0.604	0.395	0.266
N(%)	0.589	0.514	0.142	-0.214	0.362
EC(ds m <sup>-1</sup> )	0.570	0.034	0.361	0.115	-0.474
K(ppm)	0.414	0.526	-0.126	-0.224	0.094
SI (%)	-0.183	0.906	-0.121	0.261	-0.108
Gravel(%)	-0.082	0.336	0.361	-0.563	0.326
SP(%)	0.654	0.088	-0.103	0.125	-0.479

SI: Stability Index, SP: Saturation percent, Cover: Vegetation cover

توصیف تغییرپذیری ۱۴ ویژگی مختلف خاک‌های اوهایی آمریکا، از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی کمک گرفتند و تغییرات عملکرد ذرت را به تغییرات ویژگی‌های خاک نسبت دادند که با ارائه چهار مؤلفه اصلی برای ۱۴ متغیر خاک، موفق شدند در مجموع ۷۸ درصد تغییرات را توجیه کنند.

بطور کلی ۲۵/۲۷ درصد از تغییرات رواناب و رسوب توسط مؤلفه اول، ۱۸/۳۱ درصد از این تغییرات توسط مؤلفه دوم و ۱۳/۴۳ درصد از تغییرات هم توسط مؤلفه سوم و در مجموع ۵۷/۰۱ درصد تغییرات رواناب و رسوب توسط سه مؤلفه اول قابل توجیه بودند (جدول ۳). شوکلا و همکاران (Shukla *et al.*, 2004) نیز در

جدول ۳- ارزش ویژه مؤلفه‌های اصلی مهم در منطقه مورد مطالعه

Table 3. Eigen value of principal components in study area

Component	Eigen value	% of Variance	Cumulative %
1	3.286	25.274	25.274
2	2.380	18.310	43.583
3	1.746	13.430	57.013
4	1.426	10.972	67.985
5	1.156	8.891	76.877

بسیار جوانی می‌باشند که به دلایل مختلف از جمله ظرفیت کم نفوذ و نگهداری رطوبت و تکامل ضعیف بیش‌ترین میزان رواناب و رسوب را از خود نشان دادند (Soil Survey Staff, 2014). میزان کربن آلی در این زیررده کم (۰/۷۸ درصد) بوده در نتیجه موجب کاهش ظرفیت نگهداری آب و نفوذپذیری خاک شده و باعث افزایش حجم رواناب و فرسایش شده است (Ahmadi, 2000). نیاکاتاوا و همکاران (Nyakatawa *et al.*, 2007). پایداری خاکدانه‌ها در این زیررده ضعیف (۲/۹۸ درصد) می‌باشد که باعث فروپاشی سریع خاکدانه‌ها در برخورد با قطرات باران، تخریب ساختمان خاک و کاهش تخلخل درشت خاک شده و در نهایت میزان هدررفت خاک افزایش می‌یابد (Reynolds *et al.*)

### بررسی میزان رواناب و رسوب در سطح زیربرده

بر اساس تجزیه مؤلفه‌های اصلی (جدول ۴)، زیررده Psamments ارتباط بسیار قوی با ویژگی‌های محور دوم (مستقیم با کربن آلی و پایداری خاکدانه‌ها) و ارتباط ضعیفی با ویژگی‌های محور اول (مستقیم با رس، نیتروژن، هدایت الکتریکی، رطوبت اشباع و معکوس با شن) داشت. همچنین زیررده Psamments ارتباط بسیار قوی با ویژگی‌های محور دوم (مستقیم با سیلت و اسیدیت) و ارتباط ضعیفی با ویژگی‌های محور اول داشت. بر طبق این جدول، بیش‌ترین میزان رواناب (۴/۸ لیتر بر متر مربع) و رسوب (۵۸ گرم بر متر مربع) در این زیررده اندازه‌گیری شده است. زیرا خاک‌های انتی‌سول (Entisols) در مراحل آغازین تشکیل بوده و خاک‌های



اینسپتی‌سول‌ها (Inceptisols) خاک‌هایی نارس با ویژگی‌های شناسایی اندک هستند که خصوصیات نیم‌رخی ضعیف‌تری نسبت به خاک‌های تکامل یافته نشان می‌دهند (Soil Survey Staff, 2014). این زیررده ارتباط قوی با کربن آلی (۲ درصد) خاک داشت در نتیجه با افزایش کربن آلی، ظرفیت نگهداری آب و نفوذپذیری خاک زیاد شده و میزان رواناب و رسوب تولیدی کاهش یافته است (فیض نیا و همکاران (Azmoodeh et al., 2005), آرموده و همکاران (Azmoodeh et al., 2010), اکیو و هاری لال (Ekwue & Harrilal, 2010) و فرناندز و آوگا (Fernandez & Aovga, 2006)). پایداری خاکدانه‌های این زیررده ۴ درصد بود که باعث افزایش مقاومت خاکدانه‌ها در برابر برخورد قطرات باران شده و میزان هدررفت خاک را کاهش داده است.

زیررده Xeralfs ارتباط بسیار قوی با ویژگی‌های محور دوم (مستقیم با کربن آلی و پایداری خاکدانه‌ها) و ارتباط ضعیفی با ویژگی‌های محور اول (مستقیم با رس، نیتروژن، هدایت الکتریکی، رطوبت اشباع و معکوس با شن) داشت (جدول ۴). همچنین این زیررده ارتباط بسیار قوی با ویژگی‌های محور دوم (مستقیم با سیلت و اسیدیته) داشت. میزان رواناب Xeralfs ۲/۴۲ لیتر بر متر مربع و رسوب آن ۲۱/۸۴ گرم بر متر مربع در این زیررده بود. در این زیررده خاک دارای پوشش سنگریزه‌ای بوده که این پوشش سنگریزه‌ای از طریق حفاظت سطح خاک از برخورد قطرات باران و جدا شدن ذرات خاک، کاهش تخریب فیزیکی و کند کردن سرعت جریان سطحی سبب کاهش تشکیل سله و افزایش نفوذ آب به خاک می‌شود در نتیجه میزان فرسایش خاک کاهش یافته است. خاک سطحی دارای ساختمان گرانولار (Granular) می‌باشد که به دلیل افزایش نفوذپذیری و تهویه خاک، میزان رواناب و رسوب تولیدی کاهش می‌یابد. همچنین در این زیررده، کربن آلی (۳/۲۱ درصد) و پایداری خاکدانه‌ها (۶/۵۹ درصد) زیاد بود که این شرایط فیزیکی و شیمیایی مناسب باعث افزایش نفوذپذیری و کاهش زمان شروع رواناب و تلفات خاک می‌شود.

زیررده Fluvents نیز ارتباط بسیار قوی با ویژگی‌های محور دوم (مستقیم با کربن آلی و پایداری خاکدانه‌ها) و ارتباط ضعیفی با ویژگی‌های محور اول (مستقیم با رس،

Shahab et al., 2009) و شهاب و همکاران (Shahab et al., 2011). همچنین ارتباط مستقیم و قوی بین مقدار رواناب و رسوب با میزان سیلت (۳۱/۳۰ درصد) در این زیررده وجود داشت و ذرات سیلت با توجه به اینکه بدون چسبندگی بوده و در اثر مرطوب شدن خاکدانه‌ها به آسانی شسته شده و منتقل می‌شوند، باعث افزایش میزان رواناب و رسوب شده است. آرموده و همکاران (Azmoodeh et al., 2010), دویکر و همکاران (Duiker et al., 2001) و کاسرمیر و همکاران (Casermeiro et al., 2004) نیز به تأثیر سیلت در کاهش نفوذپذیری خاک و افزایش رواناب و فرسایش خاک اشاره نمودند.

زیررده Xerolls ارتباط بسیار قوی با ویژگی‌های محور اول (مستقیم با رس، نیتروژن، هدایت الکتریکی، رطوبت اشباع و معکوس با شن) و ارتباط ضعیف با ویژگی‌های محور دوم (مستقیم با کربن آلی و پایداری خاکدانه‌ها) داشت. همچنین این زیررده ارتباط بسیار ضعیف با ویژگی‌های محور دوم (مستقیم با سیلت و اسیدیته) داشت. بر طبق جدول ۴، در این زیررده میزان رواناب ۲/۷۵ لیتر بر متر مربع و رسوب ۵۷/۵۲ گرم بر متر مربع بود. در این زیررده میزان رس (۲۶/۸۱ درصد) ارتباط مستقیم و قوی با رواناب و رسوب داشت در نتیجه باعث کاهش نفوذپذیری خاک و افزایش رواناب و رسوب شده است. احمدی (Ahmadi, 2000) بیان می‌دارد که وجود یا عدم وجود رس، از عوامل مؤثر در ثبات و فرسایش‌پذیری خاک‌ها به شمار می‌رود. بر طبق جدول ۴، میزان رطوبت اشباع (۲۴/۳۲ درصد) نیز ارتباط مستقیم با فرسایش در این زیررده داشت. زیرا با افزایش رطوبت اشباع، خاک طی زمان کوتاهی پس از شروع بارندگی، به حد اشباع رسیده و رواناب در سطح خاک جاری می‌گردد که این امر موجب افزایش هدررفت خاک و فرسایش شده است.

زیررده Xerepts ارتباط بسیار قوی با ویژگی‌های محور دوم (مستقیم با کربن آلی و پایداری خاکدانه‌ها) و ارتباط ضعیفی با ویژگی‌های محور اول (مستقیم با رس، نیتروژن، هدایت الکتریکی، رطوبت اشباع و معکوس با شن) داشت. همچنین بر اساس جدول ۴، ارتباط بسیار قوی با ویژگی‌های محور دوم (مستقیم با سیلت و اسیدیته) داشت. در این زیررده، میزان رواناب ۲/۴ لیتر بر متر مربع و رسوب ۲۴/۷۳ گرم بر متر مربع بود.

همچنین (۴/۲۸ درصد) در این زیررده بیش‌تر بودند. همچنین میزان سیلت در این زیررده کم و شن (۵۰ درصد) زیاد بود که باعث ایجاد بافت لوم شنی در این خاک‌ها شده و به دلیل افزایش نفوذپذیری آب در خاک و کاهش زمان شروع رواناب، میزان رواناب تولیدی و هدررفت خاک کاهش می‌یابد (Vaezi et al., 2008).

نیتروژن، هدایت الکتریکی، رطوبت اشباع و معکوس با شن) داشت (جدول ۴). همچنین این زیررده ارتباط بسیار قوی با ویژگی‌های محور دوم (مستقیم با سیلت و اسیدیته) داشت. Fluvents نیز زیررده خاک‌های انتی‌سول (Entisols) می‌باشد، ولی نسبت به زیررده Psamments میزان رواناب و رسوب تولیدی کم بود. زیرا میزان کربن آلی (۲/۴۵ درصد) و پایداری خاکدانه‌ها

جدول ۴ - نتایج PCA ویژگی‌های خاک موثر در میزان رواناب و رسوب در سطح زیررده

Table 4. The PCA results of effective soil characteristics on runoff and sediment at suborder levels

suborder	PC <sub>1</sub>	PC <sub>2</sub>	PC <sub>3</sub>	Runoff (l m <sup>-2</sup> )	Sediment (g m <sup>-2</sup> )	Slope(%)
Xerepts	0.78	0.95	-0.8	2.4	24.73	4.17
Fluvents	0.62	1.03	-0.89	2.99	29.6	6.05
Psamments	0.02	0.5	-0.77	4.8	58	4.04
Xerolls	0.91	0.79	-0.78	3.75	57.52	0.93
Xeralfs	0.64	0.72	-0.79	2.42	21.84	3.12

فرسایش می‌باشد. همچنین کمترین میزان رواناب و رسوب در زیررده Xeralfs بدست آمده است که به دلیل بالا بودن کربن آلی و پایداری خاکدانه‌ها در این زیررده، نفوذپذیری افزایش و زمان شروع رواناب و تلفات خاک کاهش یافته است. نتایج بدست آمده از این تحقیق برای اولین بار در کشور صورت گرفته است. توصیه می‌گردد در مطالعات آتی، از یک بارانساز استانداردتر، مدت بارش طولانی‌تر و صفات دیگری استفاده شود.

### نتیجه گیری کلی

بر طبق نتایج، از بین خصوصیات خاک بررسی شده در منطقه مورد مطالعه، نقش بافت خاک، کربن آلی و هدایت الکتریکی بر روی میزان رواناب و رسوب، بیش از سایر عوامل بوده است. بیشترین میزان رواناب و رسوب در زیررده Psamments اندازه گیری شده است که دلیل اصلی آن پایین بودن میزان کربن آلی (براساس تجزیه مولفه‌های اصلی) و در نتیجه کاهش ظرفیت نگهداری آب و نفوذپذیری خاک و افزایش حجم رواناب و

### References

- Ahmadi H. 2000. Applied Geomorphology: Water Erosion. Tehran university Press, Tehran, 688p. (In persian)
- Soil Survey Staff . 2014. Keys to Soil Taxonomy. 12<sup>th</sup> Ed. US Department Of Agriculture, 360pp.
- Azmoodeh A., Kaviani A., Soleimani K., and Vahabzadeh G.H. 2010. Comparing Runoff and Soil Erosion in Forest, Dry Farming and Garden Land Uses Soils Using Rainfall Simulator. *Journal of Water and Soil*, 24(3): 490-500. (In Persian)
- Bissonnais Y.L., Cerdan O., Lecomte V., Benkhadra H., Souchere V., and Martin P. 2005. Variability of soil surface characteristics influencing runoff and interrill erosion. *Catena*, 62: 111-124.
- Bremner J.M., and Mulvaney C.S. 1982. Nitrogen total. 595-624. In A.L. Page (Ed), Methods of soil analysis. Agron. No. 9, Part 2: Chemical and microbiological properties, 2<sup>nd</sup> Ed., Am. Soc. Argon., Madison, WI, USA.
- Brunner A.C., Park S.J., Ruecker G.R., Dikau R., and Vlek P.L.G. 2004. Catenary soil development influencing erosion susceptibility along a hillslope in Uganda. *Catena*, 58: 1- 22.
- Casermiro M.A., Molina J.A., Dela Cruz Caravaca M.T., Hernando Costa J., Hernando Massanet M.I., and Moreno P.S. 2004. Influence of scrubs on runoff and sediment loss in soils of Mediterranean climate. *Catena*, 54: 91-107.

- Chen Z.W., Liu X.N., Zhu B. 2016. Runoff estimation in hillslope cropland of purple soil based on SCS-CN model. *Tranacs Chinese Society Agriculture Engineering*, 31(1): 29-33.
- Du J., Shi C.H.X., and Zhang C.H.D. 2013. Modeling and analysis of effects of precipitation and vegetation coverage on runoff and sediment yield in Jinsha River Basin. *Water Science and Engineering*, 6: 44-58.
- Duiker S.W., Flanagan D.C., and Lal R. 2001. Erodibility and infiltration characteristics of five major soils of southwest Spain. *Catena*, 34: 103-121.
- Ekwue E.I., and Harrilal A. 2010. Effect of soil type, peat, slope, compaction effort and their interactions on infiltration, runoff and raindrop erosion of some Trinidadian soils. *Biosystems Engineering*, 105: 112-118.
- Feiznia S., Ghauomian J., and Khadjeh M. 2005. The study of the effect of physical, chemical and climate factors on surface erosion sediment yield of loess soils (Case study in Golestan province). *Pajouhesh and Sazandegi*, 66: 14-24. (In Persian)
- Fernandez C., and Aovga V. 2006. Runoff and soil erosion after rainfall simulation in burned soil. *Forest Ecology and Management*, 375-377.
- Gee G.W., and Bauder J.W. 1980. Particle-size analysis. In: Klutem A. (Ed), Methods of soil analysis, part 1, physical and mineralogical methods, Second edition, Agronomy, *Soil Scienety of America*, Madison, Wisconsin, USA.
- Ghahraman B., and Sepasskhah A.R. 1991. Estimation of the relationship between intensity and frequency of rainfall in Iran using one hour of 10 years rain. Third International Congress on Road and Building Engineering, Faculty of Engineering, Shiraz university, pp 35-54. (In Persian)
- Girmay G., Sing B.R., Nyssen J., and Borroosen T. 2009. Runoff and sediment associated nutrient losses under different land uses in Tigray. *Journal of Hydrology*, 376: 70-80.
- Habibzadeh A., Nikjoo M., and Peyrovan H. 2013. Evaluation of runoff and sediment in the marl outcropping in East Azerbaijan. *Journal of Geography and Planning*, 43: 71-91.
- Jordan A., Martinez-Zavala L., and Bellinfante N. 2008. Heterogeneity in soil hydrological response from different land cover types in southern Spain. *Catena*, 74: 137-143.
- Johnson R.A., and Wichern D.W. 1982. Applied multivariate statistical analysis. Prentice-hall inc., englewood cliffs, SA, 590p.
- Knudsen D., Peterson G.A., and Pratt P.F. 1982. Lithium, sodium, potassium. p. 225-246. In: A. L. Page et al. (Ed.) Methods of soil analysis: Part 2. Chemical and microbiological properties. *American Society of Agronomy*, Monograph Number 9.
- Kavianpoor A.H., Jafarian Jeloudar Z., Esmali Ouri A., and Kavian A. 2015. Effect of Vegetation on Runoff Reduction and Soil Loss Using Rainfall Simulation in Rangelands of Mazandaran Province. *Geography and Environmental Planning*, 2: 179-190. (In Persian)
- Lang R.D. 1990. The effect of ground cover on runoff and erosion from plots at scone, New South Wales. Unpubl M.Sc. Thesis, School of Earth Sciences, Macquarie University, NSW, Australia.
- Li T., and Gao Y. 2015. Runoff and sediment yield variations in response to precipitation changes: A case study of Xichuan watershed in the loess plateau, china. *Advance Water Science*, 7: 5638-5656.
- Li Z.Y., Wang G.Z., Qu J.G., Xu J.Z., and Yan D. 2017. Effects of rain intensity and land use on the loss of organic matter in the mountainous area of southwest. *Bull Soil Water Conservation*, 1:29-33.
- Mohammad A.G., and Adam M.A. 2010. The impact of vegetative cover type on runoff and soil erosion under different land uses. *Catena*, 81: 97-103.
- Morgan R.P.C. 2005. Soil Erosion and Conservation. Third Ed. Blackwell Publishing Company, 304p.
- Nyakatawa E.Z., Jakkula K.C., Reddy J.L., Lemunyon B.E., and Norris J.R. 2007. Soil erosion estimation in conservation tillage systems with poultry litter application using RUSLE 2.0 model. *Soil and Tillage Research*, 94: 410-419.
- Qi. Y., Jeremy, L., Darilek, B.H., Yongcun, Zh., Weixia, S., and Zhiquan, Gu. 2009. Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China. *Geoderma*, 149: 325-334.

- Reynolds W.D., Drury C.F., Tan C.S., Fox C.A., and Yang X.M. 2009. Use of indicators and pore volume-function characteristics to quantify soil physical quality. *Geoderma*, 152: 252-263.
- Rimal B.K., and Lal R. 2009. Soil and carbon losses from five different land management areas under simulated rainfall. *Soil and Tillage Research*, 106: 62-70.
- Seeger M. 2007. Uncertainty of factors determining runoff and erosion processes as quantified by rainfall simulations. *Catena*, 71: 56-67.
- Shahab H., Emami H., Haghnia G.H., and Karimi A. 2011. Determination the optimal range of pore volume distribution by using of soil physical quality indicators and effect of soil properties on  $S_{gi}$  Index. *Journal of Water and Soil*, 25(4): 881-891. (In Persian)
- Sheirdan G.J., Noske P.J., Lane P.N.J., and Sherwin C.B. 2008. Using rainfall simulation and site measurements to predict annual interrill erodibility and phosphorus generation rate from unsealed forest roads: Validation against in-situ erosion measurements. *Catena* 73: 49-62.
- Shukla M.K., Lal R., and Ebinger M. 2004. Principal component analysis for predicting corn biomass and grain yield. *Soil Science*, 169: 215-224.
- Soleimani K., and Azmoodeh A. 2010. Investigating the role of land use change some of physical, chemical properties and soil erodibility. *Natural Geography Research*, 74: 111-124. (In Persian)
- Vaezi A.R., Bahrami H.A., Sadeghi H.R., and Mahdian M.H. 2008. Determining the estimating error of USLE erodibility factors in calcareous soils of Northwestern Iran. *Journal of Water and Soil*, 22(2): 61-71. (In Persian)
- Xinxiao Y., Xuexia Z., Jianlao L., Manliang Z., and Yuanyuan X. 2006. Effects of vegetation cover and precipitation on the process of sediment produced by erosion in a small watershed of loess region. *Acta Ecological Sinica*, 26: 1-8.
- Yin Z.D, Zhou X.C., and Zhu J.Z. 2003. Study on the factors affecting soil erosion. *World Forestry Research*, 16: 32-36.
- Zarrin Kafsh M. 1994. Applied Soil Science: Soil Survey and Soil-Plant-Water analysis. Tehran university Press, Tehran, 236p. (In Persian)

## Determining the Effect of Soil Properties on Runoff and Sediment at Suborder Level Using Principal Components Analysis (Case Study: Ardabil Plain)

Aghaalizadeh-Sumarin Fatemeh<sup>1</sup>, Abbasi-Kalo Ayda<sup>2\*</sup>, Esmali-Ouri Abazar<sup>3</sup>

(Received: January 2019 Accepted: Jun 2019)

### Abstract

Understanding the factors and processes affecting soil erosion and sedimentation in an area is an essential for providing a suitable strategy for soil conservation. In this research, the effect of soil characteristics on runoff and sediment yield was reviewed using a rain simulator in Ardabil plain. Principle component analysis (PCA) was used to show the effect of soil properties. Surface soil sampling was carried out at 77 points in the form of 3500 × 3500 m regular grids and runoff and sediment sampling using 40-point rain simulator. Some physical and chemical properties of soils (texture, saturation moisture, organic carbon, electrical conductivity, acidity, total nitrogen and potassium) were measured in the laboratory. In addition, the vegetation cover percentage was measured by plot at sampling points. Simulation of rain (intensity of 23.9 mm h<sup>-1</sup> in 10 minutes) was carried out at 40 sampling points and runoff and sediment samples were taken and transferred to the laboratory. The representative soil profiles described to suborder level using Soil Taxonomy. The principal component analysis (PCA) results showed that nine factors of 13 investigated factors were located in first three principle component that contribute of 57.1% of total variation in erosion changes. According to the results, the highest amount of runoff (4.8 l m<sup>-2</sup>) and sediment (58 g m<sup>-2</sup>) was measured in Psammets because of low organic carbon content (0.78%) in this suborder which reduced soil permeability and amount of generated runoff increases. The lowest amount of runoff (2.4 l m<sup>-2</sup>) and sediment (21.84 g m<sup>-2</sup>) were observed at Xeralfs, where the amount of organic carbon (3.21%) and aggregate stability (6.59%) are high that increases permeability and reduces soil losses.

**Keywords:** Erosion, Rainfall simulator, Soil orders, Soil texture

Agha-alizadeh F., Abbasi A., and Esmali A. 2020. Determining the Effect of Soil Properties on Runoff and Sediment at Suborder Level Using Principal Components Analysis (Case Study: Ardabil Plain). *Applied Soil Research*, 8(2): 129.141.

1. Graduated Ms.C Student, of Soil Sciences and Engineering Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili
2. Assistant Professor of Soil Sciences and Engineering Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili
3. Associate Professor of Range and Watershed Management Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili

\* Correspond Author Email: [Abbasiayda2014@gmail.com](mailto:Abbasiayda2014@gmail.com)